

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(подпись) Суслин А. В.  
ФИО  
« 31 » « 05 » 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Направление/специальность подготовки	17.05.01 Боеприпасы и взрыватели
Специализация/профиль/программа подготовки	Взрыватели
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	51	34	0	17	57	0	18	39	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

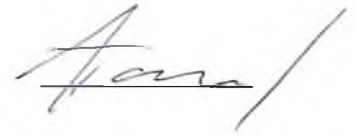
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**17.05.01 Боеприпасы и взрыватели**

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ  
Павлов Александр Сергеевич, старший преподаватель



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

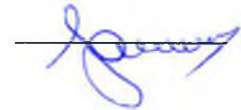
Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-10 — способность применять методы математического анализа, моделирования и системного проектирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач проектирования, производства и испытания оружия и систем вооружения

ОПК-12 — способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-10**

*знания:*

методы моделирования и анализа статических и динамических процессов в технических системах;

методы системного проектирования оружия и систем вооружения;

*умения:*

разработка математических моделей деталей и узлов взрывателей и взрывательных устройств;

решение задач с использованием численных методов и алгоритмов;

*навыки:*

проведение теоретических и экспериментальных исследований деталей и узлов оружия и систем вооружения;

использование численных методов при моделировании задач механики сплошных сред в системах инженерного анализа.

### **ОПК-12**

*знания:*

планирование вычислительного эксперимента;

методы расчета, анализа и моделирования статических и динамических задач механики сплошных сред применительно к проектированию, производству и эксплуатации боеприпасов и взрывателей;

*умения:*

решение статических и динамических задач механики сплошных сред в системах инженерного анализа;

реализация численных методов в пакетах прикладных программ;

*навыки:*

проведение инженерного анализа взрывателей и взрывательных устройств;

использование численных методов при моделировании задач механики сплошных сред.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *17.05.01 Боеприпасы и взрыватели*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ПОРАЖЕНИЯ, ТЕОРИЯ ВЗРЫВА, БОЕПРИПАСЫ, АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ, РАДИОФИЗИКА, ФИЗИКА, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ, ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ, ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СИСТЕМЫ И СЕТИ, ДАТЧИКИ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ И УСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА, КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ, ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВАТЕЛЕЙ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен понимать цели и задачи инженерной деятельности в современной науке и производстве
- ОПК-10 — Способен применять методы математического анализа, моделирования и системного проектирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач проектирования, производства и испытания оружия и систем вооружения
- ОПК-11 — Способен ориентироваться в проблемных ситуациях и решать сложные вопросы проектирования, производства, испытания и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-12 — Способен качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-13 — Способен проводить технико-экономическую оценку мероприятий и технических решений проектирования, производства, испытаний и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-15 — Способен четко формулировать цели и задачи проектных процедур, включая разработку тактико-технических заданий на проектирование боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-16 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию и технически грамотно оформлять и представлять результаты научно-исследовательских работ, связанных с боеприпасами и взрывателями различного типа и назначения
- ОПК-2 — Способен самостоятельно применять приобретенные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения инженерных задач
- ОПК-3 — Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, осознавать опасность и угрозы, возникающие в процессе этого

развития, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

- ОПК-4 — Способен самостоятельно или в составе группы осуществлять научный поиск, анализ научной и патентной литературы при решении профессиональных задач с использованием современных средств и методов получения знания
- ОПК-6 — Способен использовать в инженерной деятельности методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации с использованием современных информационных технологий
- ОПК-7 — Способен анализировать текущее состояние и тенденции развития оружия и систем вооружения
- ОПК-8 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их при решении задач профессиональной деятельности
- ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач
- ПСК-12 — Способен разрабатывать методики проведения экспериментов и последовательности испытаний образцов взрывателей
- ПСК-13 — Способен ориентироваться в многообразии динамических воздействий на различные взрыватели на всех этапах их функционирования и эксплуатации
- ПСК-14 — Владеет методами проектирования и конструирования взрывателей различного назначения
- ПСК-15 — Способен демонстрировать знания принципов действия взрывателей и их функционирования
- ПСК-16 — Владеет основными методами расчета систем предохранения взрывателей
- ПСК-18 — Способен демонстрировать знания способов передачи информации на взрыватели в процессе их боевого применения
- ПСК-8 — Владеет методами разработки проектной документации и проведения технических расчетов, оптимизации проектных параметров, определения боевой эффективности и надежности образцов боеприпасов и взрывателей
- УК-6 — Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-10	ОПК-12
4	8	<b>Раздел 1. Введение.</b> 1.1 Цели, предмет и задачи курса. 1.2 Общие сведения о моделировании технических систем. Основы планирования вычислительного эксперимента. 1.3 Конструкторский анализ и численное моделирование. Роль конструкторского анализа при проектировании взрывателей и взрывательных устройств. 1.4 Перечень и классификация расчетно-аналитических CAE-систем. Основные этапы решения задач в CAE-системах. CAE-система Ansys. Краткие сведения о параметрическом языке APDL.	18	8	5	3	10	25	25
4	8	<b>Раздел 2. Численные методы анализа.</b> 2.1 Погрешности вычислений. 2.2 Численные методы решения нелинейных уравнений. 2.3 Системы линейных алгебраических уравнений. 2.4 Системы нелинейных уравнений. 2.5 Системы уравнений специального вида. 2.6 Системы однородных линейных уравнений. 2.7 Собственные значения и собственные векторы матриц. 2.8 Приближение функций. 2.9 Численное интегрирование. 2.10 Численные методы решения дифференциальных уравнений. 2.11 Методы приближенного решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений.	21	8	6	2	13	25	25
4	8	<b>Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.</b> 3.1 Задачи механики сплошных сред характерные для взрывателей и взрывательных устройств. 3.2 Основные теоретические положения механики деформируемого твердого тела. 3.3 Метод конечных элементов (МКЭ) в механике деформируемого твердого тела. Решение систем равновесия статического расчета. Решение систем равновесия для динамических задач. 3.4 Вариационная формулировка МКЭ. Метод Рунге. Решение задачи методом Рунге. 3.5 Метод Бубнова-Галеркина (метод взвешенных невязок). Решение задачи методом Бубнова-Галеркина. 3.6 Достоинства и недостатки МКЭ. Погрешности МКЭ. Ошибки МКЭ. 3.7 Реализация МКЭ в CAE-системах. Подходы к решению связанных междисциплинарных задач. 3.8 Описание контактных взаимодействий в CAE-системах. 3.9 Линейный конструкторский анализ. 3.10 Нелинейный конструкторский анализ. 3.11 Стационарный и нестационарный тепловой анализ. 3.12 Модальный анализ. 3.13 Гармонический анализ.	37	19	13	6	18	25	25
4	8	<b>Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.</b> 4.1 Основы динамики сплошных сред. Гипотезы динамики сплошных сред. Методы описания. Особенности реализации в CAE-системах. 4.2 Численное моделирование нелинейных быстропротекающих процессов характерных для взрывателей и ВУ. Основные теоретические положения для реализации задач явной динамики в расчетно-аналитических CAE-системах. 4.3 Устойчивость решения. Критерий Куранта-Фридриха-Леви. 4.4 Математическое описание кривых текучести пластических материалов в широком диапазоне деформаций, скоростей деформаций и температур. 4.5 Основные физические и феноменологические модели прочности материалов. Основные критерии разрушения материалов. 4.6 Уравнения состояния материалов. 4.7 Методы испытания материалов. Испытательное оборудование. 4.8 Методология идентификации моделей прочности, моделей разрушения и уравнений состояния материалов.	32	16	10	6	16	25	25
<b>Всего за 8 семестр</b>			108	51	34	17	57	100	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	51	34	17	57	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение.	Основные элементы управления в CAE ANSYS. Графический интерфейс ANSYS Workbench. Работа с файлами модели. Препроцессорная и постпроцессорная обработка. Создание геометрии и импорт из CAD-систем. Графический интерфейс модуля создания и редактирования геометрии ANSYS Design Explorer. Разработка 2D и 3D геометрии. Работа с геометрическими примитивами.	2
2		Изучение модуля Ansys Static Structural.	1
3	Раздел 2. Численные методы анализа.	Практическое задание № 1. Решение задачи изгиба пластины в CAE ANSYS в квазистатической постановке. Анализ адекватности модели.	1
4		Изучение модуля Ansys Transient Structural.	1

5	Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.	Практическое задание №3. Анализ прочности резьбового соединения корпуса взрывателя и боеприпаса в динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ.	1
6		Практическое задание №2. Анализ предохранителя ударного механизма взрывателя в квазистатической постановке. Анализ предохранителя ударного механизма взрывателя в динамической постановке в неявной формулировке МКЭ.	2
7		Практическое задание №4. Анализ прочности электронного блока взрывателя при заданных воздействиях в статической и динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ.	1
8		Изучение модулей Ansys Steady-State Thermal, Ansys Transient Thermal.	1
9		Изучение модуля Ansys Random Vibration, Ansys Harmonic Response, Ansys Modal.	1
10	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	Практическое задание №5. Анализ прочности деталей и узлов взрывателей и взрывательных устройств в динамической постановке задачи в явной формулировке МКЭ.	2
11		Практическое задание №6. Определение среднемассовых перегрузок, действующих на инерционный замыкатель донного взрывателя боеприпаса в процессе пробития преграды под заданными углами встречи. Расчет инерционного замыкателя.	2
12		Изучение модуля Ansys Autodyn.	1
13		Изучение модулей Ansys Explicit Dynamics, Ansys LS-DYNA	1
Всего за 8 семестр			17

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение.	Изучение интерфейса ANSYS Workbench.	2
2		Изучение интерфейса ANSYS Design Explorer.	2
3		Знакомство с передовой научно-технической документацией, литературой и статьями, посвященными численному моделированию, математическому моделированию и CAE-системам.	2
4		Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление заданий на курсовые работы. Выполнение работ по этапу № 1 курсовой работы.	4
5	Раздел 2. Численные методы анализа.	Изучение интерфейса ANSYS Static Structural.	2
6		Домашнее задание № 1. Оформление отчета по практическому заданию № 1.	2
7		Изучение численных методов решения систем дифференциальных уравнений в CAE-системах.	3
8		Выполнение работ по этапу № 2 курсовой работы. Ознакомление с технической литературой и интернет-источниками в рамках тем курсовых работ. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	6
9	Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.	Домашнее задание № 2. Оформление отчета по практическому занятию № 2.	2
10		Изучение модуля ANSYS Transient Structural.	1
11		Изучение модулей Ansys Random Vibration, Ansys Harmonic Response, Ansys Modal.	2
12		Домашнее задание № 3. Оформление отчета по практическому занятию № 3.	2
13		Выполнение работ по этапу № 3 курсовой работы. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	4



14		Изучение модулей Ansys Steady-State Thermal, Ansys Transient Thermal.	2
15		Домашнее задание № 4. Оформление отчета по практическому занятию № 4.	2
16	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	Решение задач методами Ритца и Бубнова-Галеркина с составлением программ в системах Matlab/Mathcad.	3
17		Домашнее задание № 5. Оформление отчета по практическому занятию № 5.	2
18		Домашнее задание № 6. Оформление отчета по практическому занятию № 6.	2
19		Изучение интерфейса ANSYS Autodyn.	3
20		Изучение интерфейса ANSYS Explicit Dynamics, ANSYS LS-DYNA	3
21		Изучение литературы, посвященной новым моделям описания поведения материалов при высокоскоростном деформировании.	2
22		Выполнение работ по этапам № 3 и № 4 курсовой работы. Оформление курсовой работы, подготовка к защите.	4
Всего за 8 семестр			57

### 3.4. Курсовая работа

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Анализ состояния вопроса.	1 - 4	4
Этап 2. Расчет конструкции аналитическими методами.	5 - 8	6
Этап 3. Расчет конструкции численными методами в САЕ-системе в статической и динамической постановке задачи.	9 - 14	6
Этап 4. Оформление курсовой работы.	15 - 17	2
<b>Всего за 8 семестр</b>		<b>18</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																17
8				ДЗ		ДР	ДЗ	КР	Колл	ДР		КР	ДЗ	КР	ДЗ	ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ДЗ – домашнее задание;
- КР – курсовая работа;
- Колл – коллоквиум;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- курсовая работа;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. . Основы механики сплошных сред. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, эл. рес.
2. А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин. . Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006, эл. рес.
3. В. В. Селиванов. Прикладная механика сплошных сред. Т. 2 Механика разрушения деформируемого тела. М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999, эл. рес.
4. В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, эл. рес.
5. В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов. М.: Высш. шк., 2002, эл. рес.
6. Д. В. Криворучко, В. А. Залога. . Моделирование процессов резания методом конечных элементов; методологические основы. Сумы: Университетская книга, 2012, эл. рес.
7. К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982, эл. рес.
8. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Моделирование и анализ информационных систем;
2. Деформация и разрушение материалов;
3. Металловедение и термическая обработка металлов;
4. Информационно-измерительные и управляющие системы.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://www.tnt-ebook.ru> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
4. <http://ibooks.ru> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. <http://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Microsoft Office;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
3. КОМПАС-3D V17;
4. SolidWorks 2015 R5;

5. Matlab 2015a SP1;
6. Google Chrome;
7. DjVuReader;
8. 7-Zip;
9. PTC Mathcad Prime 5.0.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Microsoft Office;
4. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
5. КОМПАС-3D V17;
6. SolidWorks 2015 R5;
7. Matlab 2015a SP1;
8. Google Chrome;
9. DjVuReader;
10. 7-Zip;
11. PTC Mathcad Prime 5.0.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *17.05.01 Боеприпасы и взрыватели*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-10 способность применять методы математического анализа, моделирования и системного проектирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач проектирования, производства и испытания оружия и систем вооружения;

ОПК-12 способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с численными методами моделирования процессов, математическим моделированием, численным моделированием, конструкторским анализом деталей и узлов взрывателей и взрывательных устройств, САЕ-системами инженерного анализа.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- курсовая работа;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Введение.		
Изучение интерфейса ANSYS Workbench.	Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Главы 1-3)  В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)  А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин. . Численные методы в задачах физики быстротекающих процессов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006 (Глава 5)	2
Изучение интерфейса ANSYS Design Explorer.		2
Знакомство с передовой научно-технической документацией, литературой и статьями, посвященными численному моделированию, математическому моделированию и CAE-системам.		2
Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление заданий на курсовые работы. Выполнение работ по этапу № 1 курсовой работы.		4
Итого по разделу 1		10
Раздел 2. Численные методы анализа.		
Изучение интерфейса ANSYS Static Structural.	К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов: М.: Стройиздат, 1982 (Главы 7-11)  В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)  В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов: М.: Высш. шк., 2002 (Главы 1-5, 7, 14-19)  Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Главы 2-4)	2
Домашнее задание № 1. Оформление отчета по практическому заданию № 1.		2
Изучение численных методов решения систем дифференциальных уравнений в CAE-системах.		3
Выполнение работ по этапу № 2 курсовой работы. Ознакомление с технической литературой и интернет-источниками в рамках тем курсовых работ. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.		6
Итого по разделу 2		13
Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.		
Домашнее задание № 2. Оформление отчета по практическому занятию № 2.	В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов: М.: Высш. шк., 2002 (Главы 14-19)  В. В. Селиванов. Прикладная	2
Изучение модуля ANSYS Transient Structural.		1
Изучение модулей Ansys Random Vibration, Ansys		2

Harmonic Response, Ansys Modal.	механика сплошных сред. Т. 2	
Домашнее задание № 3. Оформление отчета по практическому занятию № 3.	Механика разрушения деформируемого тела: М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999 (Главы 1-2)	2
Выполнение работ по этапу № 3 курсовой работы. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов: М.: Стройиздат, 1982 (Главы 3-6)	4
Изучение модулей Ansys Steady-State Thermal, Ansys Transient Thermal.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)	2
Домашнее задание № 4. Оформление отчета по практическому занятию № 4.	Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Глава 4)	2
Решение задач методами Ритца и Бубнова-Галеркина с составлением программ в системах Matlab/Mathcad.		3
Итого по разделу 3		18
<b>Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.</b>		
Домашнее задание № 5. Оформление отчета по практическому занятию № 5.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)	2
Домашнее задание № 6. Оформление отчета по практическому занятию № 6.	В. В. Селиванов. Прикладная механика сплошных сред. Т. 2	2
Изучение интерфейса ANSYS Autodyn.	Механика разрушения деформируемого тела: М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999 (Главы 3-7)	3
Изучение интерфейса ANSYS Explicit Dynamics, ANSYS LS-DYNA	Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Глава 4)	3
Изучение литературы, посвященной новым моделям описания поведения материалов при высокоскоростном деформировании.	Д. В. Криворучко, В. А. Залого. . Моделирование процессов резания методом конечных элементов; методологические основы: Сумы: Университетская книга, 2012 (Разделы 1-3)	2
Выполнение работ по этапам № 3 и № 4 курсовой работы. Оформление курсовой работы, подготовка к защите.	А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. . Основы механики сплошных сред: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (Главы 1-5)	4
Итого по разделу 4		16

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- домашнее задание;
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Домашнее задание

Перечень тем домашних заданий:

- решение задачи изгиба пластины в CAE ANSYS в квазистатической постановке. Анализ адекватности модели;
- анализ предохранителя ударного механизма взрывателя в квазистатической постановке. Анализ предохранителя ударного механизма взрывателя в динамической постановке в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности резьбового соединения корпуса взрывателя и боеприпаса в динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности электронного блока взрывателя при заданных воздействиях в статической и динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности деталей и узлов взрывателей и взрывательных устройств в динамической постановке задачи в явной формулировке МКЭ;
- определение среднemasовых перегрузок, действующих на инерционный замыкатель донного взрывателя боеприпаса в процессе пробития преграды под заданными углами встречи. Расчет инерционного замыкателя.

Решения домашних заданий представляются в печатной или рукописной форме. Каждое задание содержит 1 задачу. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Оценка качества выполнения домашней работы осуществляется преподавателем по четырёхбалльной системе.

Оценка снижается:

- на 0,5 балла при небрежном выполнении,
- на 0,5 балла при низком качестве графического материала (расчетных схем, графиков и таблиц),
- на 2 бала при ошибках в аналитических и численных расчетах.

Итоговая оценка за домашнее задание:

- «отлично» - при сумме баллов от 4,5 до 5,
- «хорошо» - при сумме баллов от 4 до 4,5,
- «удовлетворительно» - при сумме баллов не менее 3.

По результатам сдачи обучающимся домашнего задания преподаватель выставляет оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем «удовлетворительно».

#### Коллоквиум

Проводится в устной форме. На коллоквиум выносится часть материала дифференцированного зачёта; оценка за коллоквиум учитывается при выставлении оценки по итогам дифференцированного



зачёта.

Ответ оценивается преподавателем по четырёхбалльной системе; оцениваются корректность и полнота ответа.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видеоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

По результатам сдачи обучающимся коллоквиума преподаватель выставляет оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем "удовлетворительно".

Перечень вопросов, выносимых на коллоквиум, приведён в материалах учебно-методического комплекса.

### **Курсовая работа**

Темы курсовых работ обучающиеся выбирают в первые две недели после начала семестра.

Обучающемуся предлагается определить этапность выполнения работы: анализ поставленной задачи, изучение изделий или узлов механизмов по технической литературе, разработка блок-схемы или конструктивной схемы узла (или узлов) с улучшенными техническими характеристиками, проведение расчетов и моделирования, оформление иллюстративных и графических материалов.

Защита курсовой работы проводится на занятии в присутствии обучающихся в период зачётной недели, либо преподавателю (в случае, если защита проводится после окончания семестра в период экзаменационной сессии).

Требования к выполнению курсовой работы:

- объём не менее 10 страниц печатного текста (без учёта титульного листа, приложений, списка использованных источников и оглавления),
- обязательно включение в состав курсовой работы 5-8 графических иллюстраций (рисунки, чертежи, слайды для демонстрации и т.п.),
- обязательно использование в процессе выполнения не менее трёх отечественных и одного зарубежного источников информации, опубликованных в последние 10 лет,
- остальные требования к оформлению согласно действующему на момент выполнения курсовой работы Положению по содержанию, оформлению организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ.

Контроль текущего выполнения разделов курсовой работы проводится еженедельно в течение семестра. Защита курсовой работы проходит в форме доклада обучающегося о выполненной работе и демонстрации графического материала руководителю.

Результаты защиты курсовой работы определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «не защитил». Курсовая работа оценивается в день защиты.

Оценка «отлично» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, глубокий анализ, логичное, последовательное изложение материала с соответствующими выводами и обоснованными предложениями, имеющими практическую значимость. Произведённые расчёты выполнены правильно и в полном объёме. Работа выполнена в установленный срок, грамотным языком. Оформление соответствует действующим стандартам, сопровождается достаточным объёмом табличного и графического материала. При защите курсовой работы обучающийся показывает глубокое знание вопросов темы, свободно оперирует данными исследования, вносит обоснованные предложения, а во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), даёт чёткие и аргументированные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, проведён достаточно подробный анализ, последовательное изложение материала с соответствующими выводами, однако анализ источников неполный, выводы

недостаточно аргументированы, в структуре и содержании работы есть отдельные погрешности, не имеющие принципиального характера. При защите курсовой работы студент показывает знание вопросов темы, оперирует данными исследования, вносит предложения по теме исследования, во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.) или раздаточный материал, без особых затруднений отвечает на поставленные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский или описательный характер, имеет теоретическую главу, базируется на практическом материале, однако просматривается непоследовательность изложения материала, анализ источников подменен библиографическим обзором, документальная основа работы представлена недостаточно. Проведённое исследование содержит поверхностный анализ, выводы неконкретны, рекомендации слабо аргументированы, в оформлении работы имеются погрешности, сроки выполнения работы нарушены. При защите курсовой работы студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не всегда даёт исчерпывающие аргументированные ответы на заданные вопросы.

Оценка «не защитил» выставляется за курсовую работу, которая не соответствует заявленной теме, не имеет анализа, не отвечает требованиям, изложенным в методических указаниях. Выводы не соответствуют изложенному материалу или отсутствуют. При защите курсовой работы обучающийся затрудняется отвечать на поставленные вопросы по теме, не знает теории вопроса, при ответе допускает существенные ошибки. При защите не используются наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.).

Курсовая работа не может быть принята и подлежит доработке в случае, если:

- оформление работы не соответствует действующему на момент выполнения курсовой работы Положению по содержанию, оформлению организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ,
- содержательная часть и выводы по результатам работы не соответствуют заданию на выполнение курсовой работы,
- в работе отсутствует необходимый графический материал,
- приведённые результаты свидетельствуют о неправильной обработке результатов измерений или расчётов.

По результатам выполнения обучающимся курсовой работы (или её окончательной доработки) преподаватель ставит на титульном листе работы оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем «удовлетворительно».

Перечень тем курсовых работ приведён в материалах учебно-методического комплекса.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

Перечень выносимых на дифференцированный зачёт вопросов приведён в материалах учебно-методического комплекса.

### **Дифференцированный зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-10	ОПК-12	
4	8	Раздел 1. Введение.	18	8	5	3	10	25	25	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум, Домашнее задание
4	8	Раздел 2. Численные методы анализа.	21	8	6	2	13	25	25	Домашнее задание, Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
4	8	Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.	37	19	13	6	18	25	25	Домашнее задание, Курсовая работа, Коллоквиум, Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	32	16	10	6	16	25	25	Домашнее задание, Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 8 семестр			108	51	34	17	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	